

Penurunan kadar BOD dan COD dalam limbah cair *laundry* menggunakan kombinasi adsorben alam sebagai media filtrasi

Meity Pungus^{*a}, Septiany Palilingan^b, Farly Tumimomor^c

^a Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat FIK UNIMA, Tondano, 95619, Indonesia

^b Program Studi Kimia FMIPA UNIMA, Tondano, 95619, Indonesia

^c Program Studi Fisika FMIPA UNIMA, Tondano, 95619, Indonesia

INFO ARTIKEL

Diterima 12 Agustus 2019

Disetujui 26 Oktober 2019

Key words:

Laundry wastewater,
Adsorbent,
BOD and
COD

Kata kunci:

Limbah cair laundry,
Adsorben,
BOD dan
COD

ABSTRACT

Laundry wastewater treatment methods that had been carried out were easy and inexpensive for household scale and had been proven to reduce levels of organic pollutants. Two parameters that can indicate the presence of organic pollutants in laundry wastewater are Biological Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD). This study aimed to determine the effect of filtration media application from the adsorbent combination of activated carbon, zeolite, silica sand, anthracite and ferolite in reducing levels of BOD and COD in laundry wastewater. Based on the results of laboratory tests on the BOD and COD test parameters, it was found that after the filtration process there was a decrease in the BOD and COD levels in the laundry wastewater samples by 53 % and 54 % respectively. The results of the statistical analysis also showed that the presence of filtration treatment had a significant effect in reducing levels of BOD and COD in laundry wastewater samples. Thus, it can be concluded that the presence of filtration treatment is proven to significantly reduce BOD and COD levels which can also indicate decreased levels of organic pollutants contained in laundry wastewater.

ABSTRAK

Telah dilakukan metode pengolahan limbah cair *laundry* yang mudah dan murah untuk skala rumah tangga dan terbukti dapat menurunkan kadar polutan-polutan organik pencemar lingkungan. Dua parameter yang dapat mengindikasikan keberadaan polutan organik dalam limbah cair *laundry* adalah *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan media filtrasi berupa kombinasi adsorben arang aktif, zeolit, pasir silika, antrasit dan ferolit dalam menurunkan kadar BOD dan COD dalam limbah cair *laundry*. Berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap parameter uji BOD dan COD didapatkan hasil bahwa setelah proses filtrasi terjadi penurunan kadar BOD dan COD dalam sampel limbah cair *laundry* masing-masing sebesar 53% dan 54%. Hasil analisis statistika pun menunjukkan bahwa adanya perlakuan filtrasi berpengaruh secara signifikan dalam menurunkan kadar BOD dan COD dalam sampel limbah cair *laundry*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa adanya perlakuan filtrasi terbukti dapat menurunkan kadar BOD dan COD secara signifikan yang juga dapat mengindikasikan menurunnya kadar polutan-polutan organik yang terkandung dalam limbah cair *laundry*.

*e-mail: spalilingan@gmail.com

*Hp: 085256407756

Pendahuluan

Air merupakan sumber kehidupan, setiap saat semua makhluk hidup membutuhkan air untuk hidup. Peningkatan penggunaan dan proses pemakaian air dipastikan menghasilkan sisa buangan berupa

limbah, bahkan sekitar 85% limbah masuk ke badan perairan dan berakibat pada proses *selfpurification* yang tidak berjalan seimbang. Limbah cair yang dibuang ke lingkungan perairan dalam jumlah besar dan dalam waktu lama dapat mengakibatkan pencemaran

lingkungan. Pencemaran limbah cair bisa berasal dari limbah cair domestik berupa limbah cair yang dihasilkan dari aktivitas industri, rumah tangga, maupun dari proses pencucian pakaian (*laundry*) [1]. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003, pasal 1 ayat 1 menyebutkan bahwa air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman, perkantoran, perniagaan, apartemen, rumah makan dan asrama tergolong sebagai air limbah domestik.

Limbah cair merupakan limbah yang berwujud cair yang terdiri atas 99,9% air dan sisanya bahan padat [2]. Limbah cair mengandung padatan terlarut maupun padatan tersuspensi yang dapat mengalami perubahan fisik, kimia maupun hayati yang akan membentuk zat toksik yang berbahaya bagi kehidupan. Air bekas cucian, kamar mandi, dan cuci perabot digolongkan sebagai limbah yang mengandung detergen, sabun dan mikroorganisme [3]. Dalam mencuci pakaian sehari-hari, detergen atau sabun merupakan bahan yang paling banyak digunakan, dan karena kesibukan bekerja, kebanyakan orang lebih memilih menggunakan jasa *laundry* untuk mencuci pakaian, yang berdampak pada penggunaan detergen yang semakin meningkat. Keberadaan detergen dalam kadar yang tinggi dan melebihi nilai baku mutu yang ditetapkan sesuai Permen Kesehatan RI No.32 Tahun 2017, yaitu $> 0.05 \text{ mg/L}$ pada badan air, dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah cair *laundry* yang berupa air sisa deterjen mengandung bahan-bahan kimia seperti fosfat (70-80%), surfaktan (20-30%), amonia dan nitrogen serta kadar padatan terlarut, kekeruhan, BOD, dan COD [4]. Limbah cair *laundry* yang terus-menerus dibuang langsung ke saluran air (got) tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu, dapat memberikan dampak yang merugikan bagi lingkungan hidup.

Oleh karena itu, untuk menangani masalah ini diperlukan suatu upaya penanggulangan melalui metode pengolahan limbah cair yang mudah dan murah untuk skala rumah tangga dan dapat menurunkan kadar polutan yang dapat mencemari lingkungan. Metode yang digunakan dalam proses pengolahan limbah ini adalah melalui proses

filtrasi menggunakan media filtrasi berupa adsorben-adsorben alam. Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa kombinasi adsorben-adsorben alam terbukti mampu berperan sebagai media filtrasi yang baik dalam pengolahan air seperti kombinasi adsorben pasir dan arang aktif [5], kombinasi arang aktif dan zeolit [6-8], kombinasi keramik dan zeolit [9], kombinasi arang aktif dan ijuk [10], kombinasi karbon aktif dan pasir silika [11], ada juga yang kombinasi tiga adsorben seperti kombinasi zeolit, arang aktif dan pasir silika [12], serta ada juga yang hanya terdiri dari satu adsorben seperti batu bara/antrasit [13], dan karbon aktif [14-15]. Dari hasil yang telah dilaporkan oleh penelitian-penelitian di atas, maka telah dilakukan proses filtrasi yang melibatkan proses adsorpsi polutan menggunakan multimedia filtrasi berupa kombinasi lima jenis adsorben sekaligus yaitu arang aktif, zeolit, pasir silika, antrasit dan ferolit (pasir aktif) yang memiliki luas permukaan yang besar sehingga dapat menyerap polutan-polutan yang ada dalam limbah cair *laundry*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan media filtrasi berupa kombinasi adsorben arang aktif, zeolit, pasir silika, antrasit dan ferolit dalam menurunkan kadar BOD dan COD dalam limbah cair *laundry*.

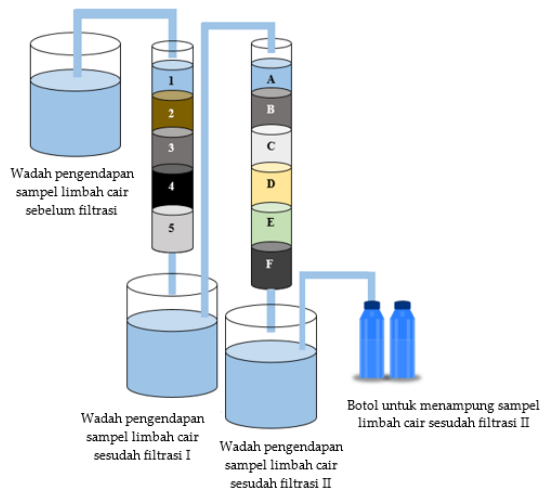
Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Terpadu FMIPA Universitas Negeri Manado untuk proses filtrasi dan pengambilan sampel, sedangkan untuk analisis sampel untuk parameter kadar BOD dan COD pada limbah cair *laundry* dilaksanakan di Laboratorium Balai Teknologi Kesehatan Lingkungan dan Pemberantasan Penyakit (BTKLPP) Kelas I Manado.

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah adsorben-adsorben alam yaitu arang aktif dari tempurung kelapa, butiran zeolit, pasir silika, antrasit, ferolit (pasir aktif), batu kerikil kecil diameter 0,5 – 1 cm, ijuk, pasir biasa, arang biasa serta limbah cair dari pencucian *laundry*. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk proses filtrasi dibutuhkan botol plastik bekas air mineral berkapasitas 1,5 L sebagai botol filtrasi (sebagai

wadah adsorben), busa filter, dan botol penampung sampel dan alat-alat pendukung yang lain. Bahan dan alat untuk analisis sampel hasil filtrasi dianalisis di Laboratorium BTKLPP Kelas I Manado.

Pembuatan Rangkaian Media Filtrasi



Gambar 1. Rangkaian Proses Filtrasi Sederhana Limbah Cair Laundry

Keterangan Gambar :

1. Air limbah sebelum filtrasi
2. Adsorben Pasir halus
3. Adsorben Arang
4. Adsorben Ijuk
5. Adsorben Kerikil kecil
- A. Air limbah setelah filtrasi I
- B. Adsorben Antrasit
- C. Adsorben Pasir Silika
- D. Adsorben Pasir Aktif (Ferolit)
- E. Adsorben Zeolit
- F. Adsorben Arang Aktif

Untuk pembuatan rangkaian media filtrasi, disiapkan 9 buah botol plastik bekas air mineral dengan kapasitas 1,5 L yang sudah dicuci bersih dan dikeringkan. Tiap botol plastik dipotong bagian bawahnya hingga tingginya mencapai ± 30 cm. Kemudian pada bagian atas botol (mulut botol), tutup botolnya dikeluarkan dan dibiarkan terbuka. Tiap botol dimasukkan busa filter dengan diameter yang sama dengan diameter botol, yaitu 8 cm, pada posisi diatas mulut botol jika botol diposisikan terbalik. Selanjutnya, pada tiap botol dimasukkan adsorben-adsorben yang diperlukan dalam proses filtrasi, dengan ketinggian yang sama yaitu ± 18 cm, mulai dari batas busa filter hingga ke bagian atas botol.

Proses filtrasi akan dilakukan dalam dua tahap, pada tahap pertama, tiap botol yang sudah berisi adsorben yang sudah dalam posisi terbalik disusun/dirangkai menjadi empat susun, dengan urutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada tahap filtrasi yang kedua tiap botol yang sudah berisi adsorben yang sudah dalam posisi terbalik juga disusun/dirangkai menjadi lima susun, dengan urutan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1 dan disediakan juga wadah yang lain sebagai wadah pengendapan limbah cair sebelum filtrasi, wadah pengendapan limbah cair setelah filtrasi pertama dan filtrasi kedua (Gambar 1). Setelah rangkaian media proses filtrasi disiapkan, maka proses filtrasi dilakukan sesuai urutan proses yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengambilan Sampel Limbah Cair Hasil Filtrasi

Setelah rangkaian media filtrasi disiapkan, selanjutnya limbah cair dalam wadah pengendapan yang akan difiltrasi dituangkan ke dalam rangkaian botol filtrasi pertama, dan ditampung dalam wadah pengendapan filtrasi pertama, dan limbah cair dalam wadah pengendapan filtrasi pertama dituangkan ke dalam rangkaian botol filtrasi kedua dan ditampung dalam wadah pengendapan filtrasi kedua. Limbah cair yang telah difiltrasi dua tahap tersebut kemudian diambil dan ditampung dalam botol penampungan sampel (1,5 L) untuk dianalisis. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

Analisis Sampel Limbah Cair Hasil Filtrasi

Sampel limbah cair yang sudah difiltrasi dan ditampung dalam botol penampungan sampel, selanjutnya dianalisis atau dilakukan pengujian berdasarkan parameter kadar BOD dan COD dengan metode pengujian berdasarkan SNI.6989.72.2009 untuk BOD dan metode pengujian berdasarkan SNI.6989.2.2009 untuk COD di Laboratorium BTKLPP Kelas I Manado. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis statistika.

Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan analisis dan pengujian parameter uji BOD dan COD terhadap sampel limbah cair laundry sebelum dan sesudah proses

filtrasi, didapatkan hasil tiap parameter pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Hasil Uji Laboratorium Sampel Limbah Cair
Laundry

Parameter Uji	Baku Mutu*	Rerata Sebelum Filtrasi (Kontrol) mg/L	Rerata Sesudah Filtrasi (Perlakuan) mg/L	Penurunan Kadar Parameter Uji (%)
BOD	30	263	125	53
COD	100	952	443	54

*Baku mutu mengacu pada Permen LHK-RI No.68 Tahun 2016

Biological Oxygen Demand (BOD)

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan rerata kadar BOD yang signifikan antara sampel sebelum filtrasi (kontrol) dengan sampel sesudah filtrasi (perlakuan), dimana persentase penurunan kadar BOD sebelum dan sesudah filtrasi sebesar 53% yaitu dari 263 mg/L turun menjadi 125 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa adanya proses filtrasi dapat menurunkan kadar BOD pada sampel limbah cair *laundry* secara signifikan hingga 53%. Hal ini diperkuat oleh hasil analisis statistika melalui uji beda rerata (uji t) yang menunjukkan bahwa terdapat signifikansi perbedaan rerata nilai BOD pada sampel kontrol dan sampel perlakuan yang dilihat dari nilai peluang $p(0,000157) < 0,05$. Nilai ini berarti bahwa adanya perlakuan filtrasi menggunakan media filtrasi berupa kombinasi adsorben memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar BOD pada sampel limbah cair *laundry*.

Besarnya penurunan kadar BOD sebesar 53% dalam penelitian ini, ternyata dilaporkan masih lebih rendah dibandingkan dengan penelitian biofiltrasi limbah cair industri tahu dengan menggunakan biofilter tanaman *Cattail* (*Typha Angustifolia*) di mana persentase penurunan kadar BOD-nya mencapai hingga 78% [16]. Akan tetapi dalam penelitian tersebut proses biofiltrasi yang dilakukan membutuhkan waktu yang lebih lama hingga 20 hari, sedangkan dalam penelitian ini proses filtrasi hanya terjadi dalam hitungan menit mulai dari sampel limbah dimasukkan dalam media filtrasi hingga keluar dari media filtrasi, sehingga kuat dugaan bahwa dalam penelitian ini, persentase penurunan kadar BOD akan

lebih besar jika perlakuan dilakukan dengan waktu kontak yang lebih lama. Hasil yang berbeda diperoleh dari penelitian pengolahan limbah cair rumah sakit dengan menggunakan teknologi saringan pasir silika dan karbon aktif yang dilaporkan dapat menurunkan kadar BOD hanya sebesar 39,97% [17], dimana persentase penurunan kadar BOD sebesar 39,97% masih lebih rendah dari persentase penurunan kadar BOD yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu sebesar 53%. Dalam penelitian ini, meskipun kadar BOD mampu diturunkan hingga 53% (125 mg/L) dan secara statistika dinyatakan menurun secara signifikan, kadar penurunan ini belumlah mampu mencapai baku mutu yang ditetapkan yaitu 30 mg/L (Tabel 1). Persentase penurunan kadar BOD akan lebih besar lagi jika dilakukan optimalisasi waktu kontak dan ketebalan adsorben, karena dilaporkan waktu kontak dan ketebalan adsorben berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar polutan dalam air [10,14], dimana dalam penelitian ini perlakuan optimalisasi waktu kontak dan ketebalan adsorben belum dilakukan.

Pengukuran kadar BOD dalam penelitian ini, dimaksudkan untuk dijadikan sebagai suatu pendekatan umum yang menyatakan banyaknya jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat-zat organik terlarut dan sebagian zat-zat organik tersuspensi dalam air [18]. Jika kadar BOD pada air limbah tinggi, hal itu menandakan besarnya kadar oksigen yang diperlukan mikroorganisme untuk menguraikan zat-zat organik dalam air limbah tersebut, itu berarti dapat dikatakan bahwa kandungan polutan-polutan organik dalam air limbah juga tinggi, sehingga BOD dapat dijadikan parameter yang dapat menunjukkan banyaknya zat atau polutan organik yang terkandung dalam suatu limbah. Makin tinggi nilai BOD maka akan makin tinggi pula kandungan polutan organik dalam limbah tersebut [19].

Adanya proses filtrasi dengan menggunakan kombinasi adsorben terbukti mampu menurunkan kadar BOD dalam sampel limbah cair *laundry*, dengan menjerap polutan-polutan organik yang terkandung dalam sampel limbah. Dari hasil ini dapat dikatakan

bahwa proses filtrasi dengan kombinasi adsorben efektif menurunkan kadar BOD secara signifikan. Selain itu, adanya penggunaan kombinasi adsorben (multi-adsorben) yaitu arang aktif, zeolit, pasir silika, antrasit dan ferolit, menunjukkan kemampuan multiguna yaitu dapat melakukan proses filtrasi, proses adsorpsi dan serta proses penukaran ion secara bersamaan sehingga mampu menguraikan dan menurunkan kadar polutan organik yang terkandung dalam limbah [17].

Chemical Oxygen Demand (COD)

Seperti pada BOD, data pada Tabel 1, memperlihatkan adanya perbedaan rerata kadar COD yang signifikan antara sampel sebelum filtrasi (kontrol) dengan sampel sesudah filtrasi (perlakuan), dengan persentase penurunan kadar COD sebelum dan sesudah filtrasi sebesar 54% yaitu dari 952 mg/L menjadi 443 mg/L. Seperti pada BOD, hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan filtrasi pada sampel limbah cair *laundry* dapat menurunkan kadar COD secara signifikan yang juga diperkuat oleh hasil analisis statistika melalui uji beda rerata (uji t) yang menunjukkan adanya perbedaan rerata kadar COD yang signifikan antara sampel kontrol dan sampel perlakuan dengan nilai peluang $p(0,0000115) < 0,05$, yang berarti bahwa perlakuan filtrasi menggunakan media filtrasi berupa kombinasi adsorben berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar COD pada sampel limbah cair *laundry*.

Seperti pada kadar BOD, besarnya penurunan kadar COD sebesar 54% dalam penelitian ini ternyata dilaporkan masih lebih rendah dibandingkan dengan penelitian biofiltrasi limbah cair industri tahu dengan menggunakan biofilter tanaman *Cattail* (*Typha Angustifolia*) di mana persentase penurunan kadar COD dilaporkan mencapai hingga 77,3% [16]. Akan tetapi dalam penelitian tersebut sama seperti pada kadar BOD, proses biofiltrasi yang dilakukan untuk menurunkan kadar COD membutuhkan waktu yang lebih lama hingga 20 hari, sedangkan dalam penelitian ini proses filtrasi hanya terjadi dalam hitungan menit mulai dari sampel limbah dimasukkan dalam media filtrasi hingga keluar dari media filtrasi,

sehingga kuat dugaan bahwa dalam penelitian ini, seperti pada kadar BOD, persentase penurunan kadar COD juga akan lebih besar jika perlakuan dilakukan dengan waktu kontak yang lebih lama. Hasil yang berbeda diperoleh dari penelitian pengolahan limbah cair rumah sakit dengan menggunakan teknologi saringan pasir silika dan karbon aktif yang dilaporkan hanya mampu menurunkan kadar COD sebesar 41,19% [17], dimana presentase penurunan kadar COD yang hanya sebesar 41,19% ini masih lebih rendah dari persentase penurunan kadar COD yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu sebesar 54%.

Seperti pada kadar BOD, meskipun kadar COD mampu diturunkan hingga 54% (443 mg/L) dan secara statistika dinyatakan menurun secara signifikan, kadar penurunan COD belumlah mampu mencapai baku mutu yang ditetapkan yaitu 100 mg/L (Tabel 1). Seperti pada BOD, persentase penurunan kadar COD akan lebih besar lagi jika dilakukan optimalisasi waktu kontak dan ketebalan adsorben, karena waktu kontak dan ketebalan adsorben berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar polutan dalam air [10,14] yang belum dilakukan dalam penelitian ini.

Pengukuran kadar COD dalam penelitian ini, dimaksudkan dapat dijadikan sebagai suatu nilai yang menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air, dimana agen pengoksidasinya adalah $K_2Cr_2O_7$ atau $KMnO_4$ [18]. Angka COD dapat dijadikan sebagai ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang dapat dioksidasi secara alami melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Hal ini berarti semakin tinggi nilai COD akan semakin banyak kadar oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terkandung dalam sampel limbah cair *laundry*, yang menandakan kandungan polutan organik dalam sampel limbah juga semakin tinggi. Akan tetapi seperti pada kadar BOD, dengan adanya proses filtrasi dengan menggunakan kombinasi adsorben (multi-adsorben), terbukti mampu menurunkan kadar COD dalam sampel limbah cair *laundry*, dengan menjerap polutan organik yang terkandung dalam sampel

limbah. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa proses filtrasi dengan menggunakan kombinasi adsorben efektif menurunkan kadar COD secara signifikan.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kombinasi adsorben alam seperti arang aktif, zeolit, pasir silika, ferolit dan antrasit sebagai media filtrasi terbukti dapat memberikan pengaruh yang signifikan dalam menurunkan kadar BOD dan COD yang terkandung dalam sampel limbah cair *laundry* hasil filtrasi, dengan mampu menurunkan hingga lebih dari 50% jika dibandingkan dengan sampel sebelum filtrasi (kontrol). Ketika parameter BOD dan COD dapat diturunkan dengan metode filtrasi, hal ini mengindikasikan bahwa metode filtrasi dapat pula menurunkan kadar polutan-polutan organik yang terkandung dalam limbah cair *laundry*.

Daftar Pustaka

1. Yunarsi, N. M.; Manurung, M.; Putra, KG. D., Efektifitas Membran Khitosan Dari Kulit Udar Galah (*Macrobrachium Rosenbergii*) Untuk Menurunkan Fosfat Dalam Air Limbah Laundry. *Cakra Kimia* **2013** 1 (2): 25–32.
2. Mahida. Pencemaran Air Dan Pemanfaatan Limbah Industri. Jakarta: CV Rajawali. **1995**.
3. Soemirat, T. Kesehatan Lingkungan. Yogyakarta: Gajamada University Press. **1996**.
4. Ahmad, J.; E-Dessouky, H., Design of a Modified Low Cost Treatment System for the Recycling and Reuse of Laundry Waste Water. *Resources, Conservation and Recycling* **2008**. 52 (7): 973–78.
5. Setyobudiarso, H.; Yuwono, E., Rancang bangun alat penjernih air limbah cair *laundry* dengan menggunakan media penyaring kombinasi pasir – arang aktif. *Jurnal Neutrino*. **2014**. 6 (2): 84–90.
6. Fatahilah; Raharjo, I., Penggunaan Karbon Aktif Dan Zeolit Sebagai Komponen Adsorben Saringan Pasir Cepat (Sebuah Aplikasi Teknologi Sederhana Dalam Proses Penjernihan Air Bersih). *Jurnal Zeolit Indonesia* **2007** 6 (2): 43–46.
7. Purwonugroho, N., Keefektifan kombinasi media filter zeolit dan karbon aktif dalam menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air sumur. Universitas Muhammadiyah Surakarta. **2013**.
8. Rahmadhani, D. S., Perbedaan keefektifan media filter zeolit dengan arang aktif dalam menurunkan kadar kesadahan air sumur di desa Kismoyoso ngemplak Boyolali. Universitas Muhammadiyah Surakarta. **2014**.
9. Nasir, S.; Teguh, B. S. A.; Silviaty, I., Aplikasi filter keramik berbasis tanah liat alam dan zeolit pada pengolahan air limbah hasil proses laundry. **2013**. *Jurnal Bumi Lestari* 13 (1): 45–51.
10. Sujarwanto, A., Keefektifan Media Filter Arang Aktif Dan Ijuk Dengan Variasi Lama Kontak Dalam Menurunkan Kadar Besi Air Sumur Di Pabelan Kartasura Sukoharjo.” Universitas Muhammadiyah Surakarta. **2014**.
11. Aliaman. Pengaruh absorpsi karbon aktif & pasir silika terhadap penurunan kadar besi (Fe), fosfat (PO_4), dan deterjen dalam limbah laundry. Universitas Negeri Yogyakarta. **2017**.
12. Utama, R. Y. S., Studi efektifitas filter penjernih air menggunakan media zeolite, karbon aktif dan pasir silika untuk mengurangi kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dengan variasi sudut kemiringan pada alat uji dan penambahan filter keramik. Universitas brawijaya. **2017**.
13. Billah, M., kemampuan batubara dalam menurunkan kadar logam Cr^{2+} dan Fe^{2+} dalam limbah industri baja.” *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*. **2010**. 10 (1): 48–56.
14. Mifbakhuddin, Pengaruh ketebalan karbon aktif sebagai media filter terhadap penurunan kesadahan air sumur artetis.” *Eksplanasi* **2010**. 5 (2): 1–11.
15. Masthura, Peningkatan daya serap filter air dari karbon aktif tempurung kelapa dengan memvariasikan suhu pemanasan. Universitas Sumatera Utara. **2013**.
16. Muhajir, M. S., Penurunan Limbah Cair BOD dan COD Pada Industri Tahu

- Menggunakan Tanaman *Cattail* (*Typha Angustifolia*) Dengan Sistem *Constructed Wetland*." Universitas Negeri Semarang. **2013**.
17. Ronny; Syam, D. M.,. Aplikasi Teknologi Saringan Pasir Silika Dan Karbon Aktif Dalam Menurunkan Kadar BOD Dan COD Limbah Cair Rumah Sakit Mitra Husada Makassar. *Higiene* **2018**. 4 (2): 62–66.
 18. Alaerts, G.; Santika, S. S., Metode Penelitian Air. Surabaya: *Usaha Nasional*. **1984**.
 19. Sofiany, R., Efektivitas Biji Moringa Oleifera Lam Dalam Memperbaiki Sifat Fisika-Kimia Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Di Sukaregang, Garut. Institut Teknologi Bandung. **1999**.